

ヒールパッドが身体回旋動作時の足圧分布に及ぼす影響

著者	山本 敬三, 伊藤 佑樹, 新開谷 深
雑誌名	北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要
巻	12
ページ	105-117
発行年	2021
URL	http://doi.org/10.24794/00003280

ヒールパッドが身体回旋動作時の足圧分布に及ぼす影響

Effect of Heel Pad on Foot Pressure Distribution during Whole-body Rotation

山 本 敬 三

YAMAMOTO Keizo

伊 藤 祐 樹

ITO Yuki

新 開 谷 深

SHINKAIYA Fukashi

北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要

第12号 2021

ヒールパッドが身体回旋動作時の足圧分布に及ぼす影響

Effect of Heel Pad on Foot Pressure Distribution during Whole-body Rotation

山 本 敬 三¹⁾ 伊 藤 祐 樹²⁾ 新 開 谷 深²⁾
YAMAMOTO Keizo ITO Yuki SHINKAIYA Fukashi

Abstract

シューズやブーツを着用するスポーツ動作では、その装着感や運動時の力学的伝達を高めるために、シューズ内に足底挿板（インソールやヒールパッドなど）を入れることは珍しくない。本研究では、ヒールパッド型インソール（Opti Canto, ADS札幌社製）について、その力学的な効果について調査する。対象者は健康成人16名とした。動作課題は15kgシャフトを持った立位姿勢での身体回旋動作とした。4条件（3タイプのOpti Canto装着条件とNo Canto条件）で、身体回旋動作5サイクルを一定のリズムに合わせて行わせた。条件順はランダムとした。被験者には試技後に官能評価を行い、最も楽に感じた条件を質問した。動作計測では光学式三次元動作分析装置、足底圧計測装置を用いた。結果、Opti Cantoの装着によって、身体回旋動作時に足圧分布の分散が観察された。具体的には、中足部の圧力が低下し、前足部および後足部の圧力が有意に増加した。この足圧分布の分散によって、足底と床面との接触面積を実質的に拡大させ、かつ右足への荷重量（床反力鉛直成分）を減少させたと考えられた。これが、被験者の主観的運動強度を下げ、運動を楽に感じさせたと推察された。

I. 背景と目的

インソールやヒールパッドなどの足底挿板は足底の形状に合わせて制作し、靴の中に挿入して使用される。中敷きを使用した一種の矯正用具である。足底挿板、足底装具、中敷、インソール、アインラゲン、ヒールパッドなどさまざまな呼称がある。足の各アーチが

低下すると衝撃吸収能力の低下や、異常足底圧の発生などの障害を起こす場合がある。また、足のアライメント異常から、身体のバランスが崩れる原因となる場合もある。足底挿板は各アーチの支持、異常足底圧部の除圧、アライメントの補正を目的として使用される。近年、保温用からクッション性を高める目的のものまで、さまざまな用途の規格品の

1) 北翔大学生涯スポーツ学部スポーツ教育学科 2) 北翔大学大学院生涯スポーツ学研究科
キーワード：Opti Canto, 身体回旋, フリーモーメント, 圧力分布

足底挿板が市販されている。そのため使用者の希望にあった足底挿板を気軽に購入できるようになったが、市販されているものは万人向けに制作されたものが多く、効果が得られない場合もある。よりよい効果を得るためには、個々の足に合わせて製作することが理想である¹⁾。

足底挿板にはアーチサポート、外側楔、内側楔、補高がある。アーチサポートは各アーチの補正、外側楔、内側楔は荷重線の補正、側方動揺の制限を主な目的としている。補高は左右の脚長差を補正する目的で使用される。また、足底挿板は、屋内用として中足骨骨頭近位程度までの長さのものを足に直接装着し、使用される場合がある。この場合、装着にはマジックバンドを使用する。屋内用足底挿板は、屋内外両方で使用する場合や、外出頻度が少なく、靴を履く機会が少ない人に適用される。また最近では、足底挿板に対応したスリッパもあり、靴と入れ替えながら使用することができる。ただし、足底挿板の効果を得るためには、踵骨のアライメント保持が重要であり、これらの場合、靴に挿入して使用した場合と比較すると、踵骨の保持機能が低いため、確実な矯正力を期待できず、効果が低くなることもある¹⁾。

一般的な足底挿板の階層構造は、大きく分けて表面材、クッション材、ベース材、底材(芯材)の4層からなる。表面材は肌に触れる部分なので柔らかく、クッション材の妨げにならないように伸縮性のあるものが多い。クッション材は足底圧を分散させる緩衝材である。ベース材は基礎となる部分であり、足のモデルに合わせて成型される。底材(芯材)は足底挿板の耐久性を高めるために使用され

る。さまざまな制作方法があるが、基本的にはベース材を石膏モデルに合わせて成型し、それに他の材料を積層して製作されることが多い。ただし、症状や靴の状態により、積層する材料を増減する場合がある²⁾。

足底挿板に関する先行研究について調査したところ、清水ら(2006)は、扁平足タイプ、後足部回内タイプ、凹タイプの3タイプ別に足底装具を製作した。その有効性を確認するために、健常者21名と変形性関節症(膝OA内側型)と診断された16名の症例に対し実験を行った。足底装具装着前後で歩行時の痛みの主観的評価と、10m歩行時間を用いた客観的評価を行った。健常者は、足底装具装着前後に比べ、10m歩行時間の歩行速度、左右歩幅が有意に増加したと報告している。変形性関節症の症例では、足底装具装着前後に比べ主観的な歩行時痛の有意な改善、歩行速度が有意に増加したと報告している。健常者の歩幅増加や健常者と症例の歩行時間が短縮したのは、後足部の誘導、足内在筋優位、母指の蹴り出しの強化により、後足部が安定した状態で前方への推進力が増加したためと推測している。歩行時痛は、足底装具装着により膝OA内側型歩行の特徴である膝のスラストを減少させ、歩行時痛改善につながったと推測している。10m歩行時間などから、実際の症例の方が健常者より有効であり、後足部回内タイプ、扁平足タイプにおいて外側楔型足底装具を用いなくても歩行時痛の軽減および消失が可能であったとしている³⁾。

大畑ら(2004)は、健常成人に対して外側ウェッジの有無が歩行中の下肢筋活動、足圧中心に与える影響について検討している。筋電図解析では、ウェッジ無しの歩行に比べ、

ウェッジ有りの歩行では、長腓骨筋が立脚初期から中期にかけて筋活動が有意に増加した。足圧中心は、踵接地時に有意な外側変位を認め、立脚後期から有意な内側変位を認めたと報告している。踵接地直後の外側変位が、外側ウェッジの一般的な傾向であると考察している。外側ウェッジに対する一般的な反応は、ウェッジの傾斜による力学的変化を長腓骨筋の筋活動増加による回内運動で吸収することであると考察している⁴⁾。

Lee et al. (2014) は、前足部に痛みを伴う高齢者37名を対象に、最適な前足パッドの配置を検討した。インソール無、4種類のパッドで比較している。各条件で8m歩行の間、足底圧計測装置を使用し足底圧力を計測した。インソール無と比較して、各パッドは、前足の最大圧力を有意に減少させたと報告している。この研究で評価された足底挿板は、前足部に痛みを伴う高齢者の前足部の最大圧力を下げるために効果的だったとしている。ドームを中足骨の5mm遠位に位置させた足底挿板は、最大圧力を低下させるのに最も効果的であったとしている。ドームを中足骨の5mm遠位に位置させた足底挿板と足底カバー型の足底挿板が同様の最大圧力低下を示したとしている。また、ドームを中足骨の10mm近位に位置させた足底挿板と中足バー型の足底挿板が同様の最大圧力低下を示したとしている。前足パッドの設計が違うにもかかわらず、最大圧力の低下は同様の結果を示している。これらの結果から、中足骨頭に対するパッドの位置がパッドの形状よりも重要な可能性があるとし唆している。さらなる長期的な実験と足底圧力評価により、足底挿板の快適性および痛みの評価が保証されていくとして

いる⁵⁾。

Bonanno et al. (2011) は、踵の痛みに有効な足底挿板の構造をあきらかにするため、踵の痛みを有する65歳以上の高齢者36人対して実験をしている。8m歩行中の足底挿板が足底圧力に及ぼす影響を調査している。足底圧の測定には、足底圧計測装置を利用しており、4種類の足底挿板を同じシューズに挿入していた。得られた圧力データは、前足部、中足部、後足部に分割していた。後足部の足底圧力は、シリコンヒールカップ、ソフトフォームヒールパッド、既製品の足底挿板の3種類の足底挿板で有意な減少が見られたと報告している。中でも既製品の足底挿板が最も大きな減少を見せたとしている。既製品の足底挿板は予め靴の形になっている。この性質が、足の中足部接触面積を上昇させ、圧力の分散を大きくしたとしている。この既製品の足底挿板は、高齢者の後足部圧力を下げるのに最も効果的としていた⁶⁾。

Bonanno et al. (2012) は、内側の厚みが異なる4つの足底挿板の厚さが足底圧に及ぼす影響を評価することを目的に、30人の健常男性を対象に検討実験をおこなっている。被験者は、扁平足または回内足を持ち、足に痛み、変形が見られないものを対象としていた。内側に厚みが無いインソールと3つの厚みが異なる足底挿板を挿入して8m歩行した際の足底圧力データを収集している。得られたデータは、前足部、中足部、後足部に分割していた。また、前足部を4分割、中足部、後足部それぞれ内側、外側に分割していた。内側に厚みが無いインソールと3つの厚みが異なる足底挿板を比較して、4mmと6mmの厚さを持つ足底挿板で後足部内側最大圧力の有

意な増加が観察されたと報告している。2 mmの厚さを持つ足底挿板には、有意な変化がなかったと報告している。中足部および前足部には、有意な変化は見られなかったと報告している。このような圧力の増加は、側方の踵に対する力の減少を伴うと考えられており、内側踵の過剰な後足の回内を減少させる可能性があるため臨床的に重要であるとしている。扁平足を持つ人は、後足部内側の足裏の圧力を上げることが望まれる場合、4 mmまたは6 mmの内側に厚みがある足底挿板を使用することを勧めている。しかし、足底圧力の変化が臨床的にどのような変化をもたらされるかはまだ明らかにされていないため、内側踵に病的異常を有する人々に使用する場合⁷⁾は注意が必要であるとしている。このように足底挿板の効果検証に関する研究は様々な種類、観点から報告されている。しかし、どの足底挿板も検討が不十分であり、さらなる検討を必要としている。

本研究ではゴルフやスノーボード選手向けに開発されたヒールパッドOpti Canto (ADS札幌社製)⁸⁾を対象に、その力学的効果を評価した。ゴルフやスノーボードの動作は、身体をその長軸方向に回旋させるという共通動作があることから、本研究の目的は、ヒールパッドの有無が、身体回旋運動動作に寄与するフリーモーメントに足圧分布に及ぼす影響を検証することとした。

Ⅱ. 方 法

1. 対象

本研究の対象者は健常男性16名とした。年齢： 22.3 ± 4.7 歳，身長： 1.73 ± 0.06 m，体重： 66.5 ± 7.5 kgであった（平均±標準偏差）。本

研究の対象者には研究の主旨、内容において十分に説明を行い、同意を得たうえで実施した。

2. センター角の計測

Opti Cantoの使用マニュアルに従ってSTANCER（ジャイロテクノロジー株式会社製，日本）により両脚立位時の左右股関節の内外旋角度可動域の中間値（以下，センター角）を算出した。立位姿勢時の足幅（ターンテーブルの回転中心間距離）は肩幅に近い設定値の42cmとした。STANCERの計測は、ターンテーブル上に立位姿勢で立ち、手はバーを持たせた。両手でバーを把持し、3m先に被験者の視線の高さに設置した注視点を常に見るように指示した。計測中は、股関節・膝関節が屈曲しないように指示した。股関節の最大外旋と最大内旋の角度を各3回測定した。左右脚それぞれの最大外旋角度と最大内旋角度の中間値を求め、3回の平均値をセン



写真1 センター角の計測の様子。被験者は、2台の円形ターンテーブルの上にそれぞれの足を乗せて立位する。立位姿勢時の足幅（ターンテーブルの回転中心間距離）は42cmとした。両脚立位時の左右股関節の内外旋角度可動域を計測し、その中間値をセンター角とした。

ター角と定義した。

3. 動作課題

動作課題では被験者に15kg バーベルを持ち立位での身体回旋動作をとした。被験者には、実験室内に設置された2台の床反力計に左右足をそれぞれ置かせた。右足側に体重を乗せ、右膝関節を軽度屈曲位にさせた。左脚はバランスを取れる程度に、軽く体重を支持させた。体幹を正面に向けた状態を開始姿勢とし、体幹を反時計回りに90°左回旋させ、その後、最初の開始姿勢まで右回旋させて戻る動作を1サイクルとした。1サイクルの動作を図1に示す。動作開始および終了位置、最大回旋位置の目印となるバーを垂直に立てて置いた。右脚を置く位置は全被験者共通と

し、スリップ防止のため滑り止めマットを置いた。身体回旋動作5サイクル行わせ、動作中はメトロノームのリズム96 bpmに合わせて、1サイクルの運動を8拍で行うよう指示した。

ヒールパッドの挿入条件は、右足に3タイプのOpti Cantoをそれぞれ挿入した3条件に加えてOpti Cantoを挿入しない全4条件とした。図2に3タイプのOpti Cantoの形状について示す。条件の順番はランダムとし、被験者にはOpti Cantoの形状や仕様について説明しなかった。また、計測後に官能評価を行い、運動が最も楽に感じた条件を質問した。なお、動作の前には十分なウォーミングアップと、動作課題の練習を行わせた上で計測を行った。

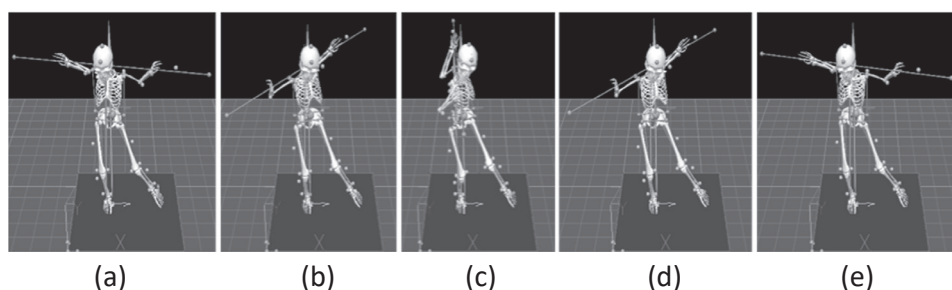


図1 運動課題の連続写真(1サイクル)。被験者は15kgのバーベルを持ち、(a)から(e)まで身体回旋動作を5サイクル繰り返す。(a)から(c)は、身体を反時計まわりに回旋する動作、(c)から(e)は身体を反時計まわりに回旋する動作。運動をメトロノームのリズム96 bpmに合わせて、1サイクルの運動を8拍で行うよう指示した。(c)の時、フリーモーメントは最小値となり、身体には時計回りの回転作用が生じる。(e)の時、フリーモーメントは最大値となり、身体には反時計まわりの回転作用が生じる。5サイクルのうち、2～4サイクル目の運動を解析対象とした。

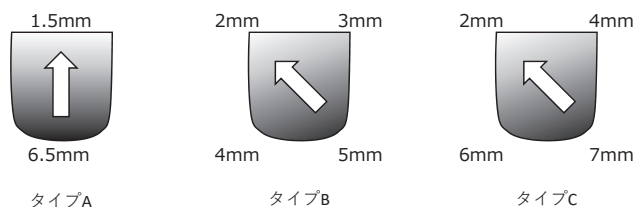


図2 Opti Cantoのタイプ別の形状。表示された値はそれぞれの位置におけるOpti Cantoの厚みを表す。矢印の方向に下方傾斜がついている。

4. 動作計測

動作計測には赤外線カメラ12台（Raptor-E, MotionAnalysis社製）を含む三次元光学式動作解析装置（MAC 3, MotionAnalysis社製）、床反力計（BP6001200, AMTI社製）を使用した。被験者の身体に直径12.5mmの赤外線反射マーカを全身33カ所に貼付した。貼付位置は、ヘレン・ヘイズマーカーセットとした。サンプリング周波数はマーカ計測で100Hz、床反力計測で1000Hzとした。

足圧の測定には、足底圧計測装置（Pedar-X, novel社製, Germany）を使用した。センサ部はインソール形状で、靴底に入れて足底圧を計測することができる。センサを右足の靴底に挿入した。各条件の動作前に計測装置が推奨する方法でキャリブレーションを行い、片足99点をサンプリング周波数100Hzで計測した。計測時に被験者には、同一メーカーの同一品番のトレーニング用シューズ（BESPO, asics社）を着用させ、足底部にインソール型センサ（ws-703l-704r）を挿入した。足圧分布計測用のPCにウェブカメラ（UCAM-DLG200H, ELECO社, 30FPS）を取り付け、同期撮影した。

5. 信号処理

足底圧計測装置で得られたデータは、Pedar-X専用のデータ収集アプリケーションにより分析された。計測された99点のデータを4エリアに分割し、それぞれtoe, forefoot, midfoot, rearfootと呼ぶ（図3）。圧力データの分割では、先行研究⁵⁻⁶⁾を参考に分割した。それぞれのエリアの面積は、toe; 26.2cm², forefoot; 44.3cm², midfoot; 44.1cm², および rearfoot; 40.8cm²であった。5サイクルの動

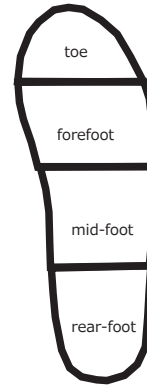


図3 足圧分布計測装置得られたデータ99点を4エリアに分割した領域。それぞれの領域の面積は、toe: 26.2cm², forefoot: 44.3cm², mid-foot: 44.1cm², rear-foot: 40.8cm²である

作のうち、2～4サイクル目における各エリアの平均圧力と標準偏差を算出した。

動作分析では、Visual 3D（C-Motion社製）を用いた。マーカ座標データについてはバターワース型ローパスフィルタ（4次 Butterworth型フィルタ, cut-off 周波数 6 Hz, 時間位相補正あり）によって平滑化された。また、床反力データについてはバターワース型ローパスフィルタ（4次 Butterworth型フィルタ, cut-off 周波数 18Hz, 時間位相補正あり）によって平滑化された。分析項目は、2～4サイクル目の、身体回旋時に発生する右足に作用するフリーモーメントの最大値（身体には反時計まわりの回転作用が生じる, 図1（e）の姿勢の付近）と最小値（身体には時計回りの回転作用が生じる, 図1（c）の姿勢の付近）、およびそれぞれの時点における右足に作用する床反力鉛直成分とした。ここで、フリーモーメントとは、フォースプレートと足底の摩擦によって生じる鉛直方向に作用するCOPまわりの力のモーメントである。これが正值の場合は床反力計を反時計

まわりに回転させる作用が、負値の場合は床反力計を時計まわりに回転させる作用が発生していると解釈される。また、フリーモーメントが最大・最小値となる時の右足に作用する床反力の鉛直成分と、同側の股・膝および足関節の各関節モーメント3成分のそれぞれの平均値と標準偏差を求めた。

6. 統計処理

Opti Canto 有無による運動力学データの違いを評価するため、官能評価により各被験者が最も楽に感じた条件（以下、Canto条件）のデータとOpti Canto無し条件（以下、No Canto条件）のデータの差の検定を行った。検定では、対応のあるStudent t-testを用い、有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

官能評価の結果より、被験者16名の右脚のセンター角と官能評価の結果を表1に示す。16名のうち13名がCanto条件の方が主観的に楽に動作できたと回答した。残り3名はOpti Cantoに効果を感じなかったと回答した。ここではOpti Canto条件で主観的に楽に動作できたと回答した13名の結果を以下に示す。

フリーモーメントが最小値の時（図1（e）の姿勢の付近）における足圧分布について両条件の圧力の比較を図4に示す。toeを除く全てのエリアにおいて、有意差が認められた（ $p < .05$ ）。forefootとrear-footにおいて、Canto条件で有意な圧力の増加が認められ、それぞれ19.5%増、26.4%増となった。mid-footについては、Canto条件で圧力の有意な減少が認められた（12.5%減）。次に、フリーモーメントが最大値の時（図1（c）の姿

表1 各被験者の右脚のセンター角と主観的な官能評価によるOpti Cantoの最適タイプ

被験者	右脚センター角	主観的な最適タイプ
A	27°	C
B	25°	B
C	31°	B
D	22°	A
E	12°	A
F	6°	C
G	28°	A
H	6°	B
I	8°	B
J	13°	A
K	28°	C
L	-1°	効果を認識せず
M	17°	C
N	13°	効果を認識せず
O	17°	効果を認識せず
P	16°	A

勢の付近）における足圧分布について両条件の圧力の比較を図5に示す。forefootは、Canto条件で有意な増加が認められた（ $p < .05$, 33.0%増）。一方で、mid-footは、Canto条件で有意な減少が認められた（ $p < .05$, 16.4%減）。toeエリアとrear-footについては条件間に有意な差は認められなかった。

フリーモーメントの最大値および最小値については、いずれも条件間で有意差は認められなかった。同様に、右脚の股・膝および足関節モーメントの発揮についてもそれぞれの3成分について、条件間の差は認められなかった。フリーモーメントが最大値の時の右足に作用する床反力鉛直成分は、Canto条件で 603.9 ± 119.3 N, No Canto条件で 622.3 ± 105.1

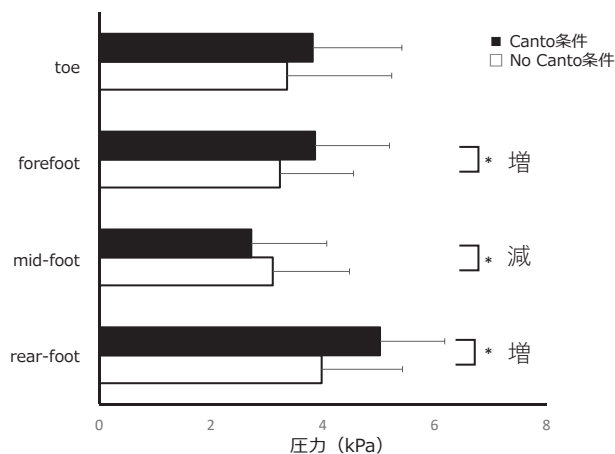


図4 右足に作用するフリーモーメントが最小値（身体には時計回りの回転作用が生じる, 図1(e)の姿勢の付近）の時の足圧分布の比較。forefoot, mid-footおよびrear-footで有意差が認められた ($p < .05$)。forefootとrear-footにおいて、Canto条件で有意な圧力の増加が認められ、それぞれ19.5%増、26.4%増となった。midfootについては、Canto条件で圧力の有意な減少が認められた（12.5%減）。

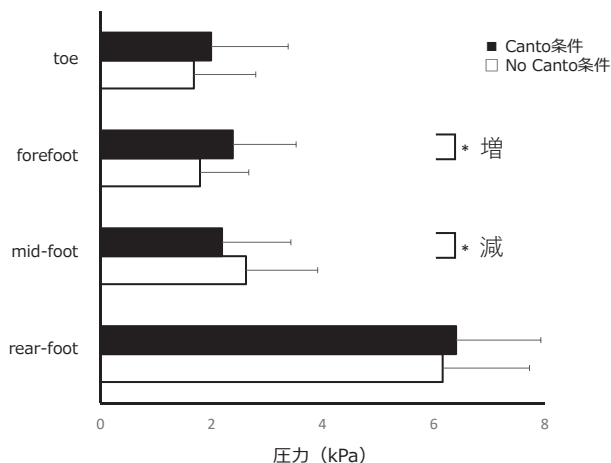


図5 右足に作用するフリーモーメントが最小値（身体には時計回りの回転作用が生じる, 図1(c)の姿勢の付近）の時の足圧分布の比較。forefootは、Canto条件で有意な増加が認められた ($p < .05$, 33.0%増)。一方で、mid-footは、Canto条件で有意な減少が認められた ($p < .05$, 16.4%減)。toeエリアとrear-footについては条件間に有意な差は認められなかった。

Nであり、Canto条件の方が有意に小さかった ($p < .05$)。一方で、フリーモーメントが最小値のときの右足に作用する床反力鉛直成分は、Canto条件で 644.6 ± 109.4 N, No Canto

条件で 639.4 ± 109.6 Nであり、両者に有意差は認められなかった。

Ⅳ. 考 察

1. 足圧分布の比較

右足に作用するフリーモーメントが最大および最小となる時の圧力分布の比較では、No Canto条件と比べて、Canto条件ではmid-footの有意な圧力低下と、forefootの有意な圧力増加が観察された(図4, 5)。フリーモーメントが最小となる時の圧力分布比較では、Canto条件でrear-footの有意な圧力増加も確認された(図4)。この結果は、Opti Cantoを挿入することによって、mid-footの圧力がforefoot, あるいはrear-footへ分散されたことを示唆している。Cronkwright et al. (2011) は、インソールに装着時の足底圧力の分散特性を調査し、インソール挿入によって前足部及び後足部のピーク圧力は減少し、中足部の最大圧力と接触面積を増加させたことを報告している⁹⁾。その他、インソールによる圧力分散について言及した報告がある¹⁰⁻¹²⁾。Opti Cantoにも、同様の圧力分散の機能があると考えられた。

2. フリーモーメント、股・膝および足関節モーメント、床反力鉛直成分の比較

右足に作用するフリーモーメントの最大値および最小値に条件間の有意差は認められず、同時点における右下肢の股・膝および足関節モーメントの発揮にも条件間に有意差はなかった。床反力鉛直成分に関しては、フリーモーメントが最小値の時は、有意差は認められなかったが、フリーモーメントが最大値のときは、有意差が認められ、Canto条件の方が約20N減少する結果となった。その減少量はNo Canto条件の平均床反力622.3Nの約

3%であった。上記の結果から、次のことが示唆された。1) 身体回旋運動は、メトロノームのリズムに合わせて行われたため、条件間で被験者による意図的な過度な力発揮はなく、運動課題が適正になされていた。2) 計測実験時における被験者の動作および姿勢規定が正しくなされ、姿勢や回旋量、回旋時間等が条件間で異ならなかった。3) Opti Canto挿入によって姿勢や筋活動量に有意な変化はなかったにも関わらず、被験者は主観的に楽と感じた。

以上のことを総合するとCanto条件では、足底の圧力分布が、中足部から前足部あるいは後足部へ分散することで、被験者は主観的に運動が楽になったと認識したと考えられた。この現象は、Beer et al. (1977) のクラッチのメカニズムにおける回転軸受面積の増加に相当すると考えられる(図6)¹³⁾。No Canto条件(図6(a))とCanto条件(図6(b))を比較するとmid-footの圧力がforefootとrear-footへ分散し、図4の現象を表している。一方、円板クラッチ機構で回転作用Mと軸受面積Rの関係を図6(c), (d) および関係式を図中の式に示す。

右足に作用するフリーモーメントが最小値の時に、圧力分散が確認され、forefootやrear-footに観察された圧力増加は(図4)、円板クラッチ機構における回転半径Rが増加したことと同じ物理現象と考えられた。図6に示す関係式より、円板クラッチで同じ回転作用Mを発生させる際に、作用する圧縮力が減少しても($P > P'$) 半径Rを大きくすることで($R < R'$) 対応できることと同じメカニズムと考えられた。また、この足圧分布の分散によって、足底と床面との接触面積が拡

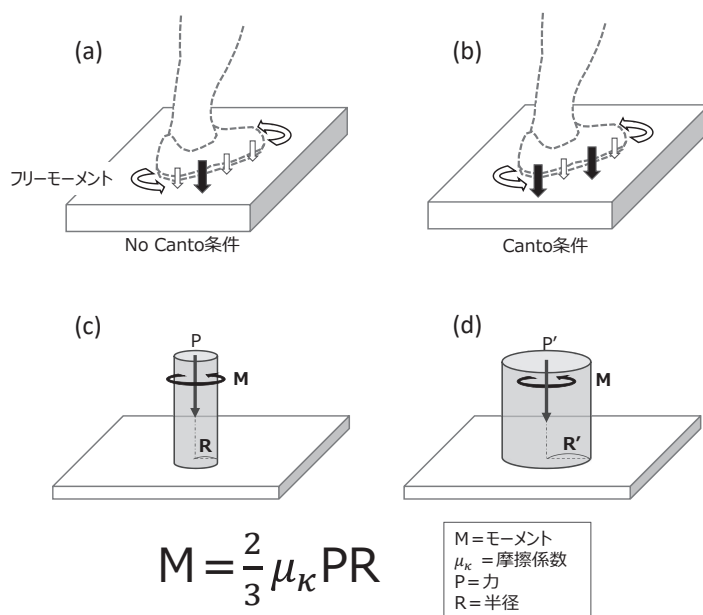


図6 円板クラッチの回転作用 M と軸受面積 R の関係式（引用文献29, p343）と、Opti Canto有無におけるフリーモーメント発生に関する考察。(a), (b)No Canto条件およびCanto条件における4エリアの圧力分布のイメージ図。No Canto条件でのmid-footの圧力（(a)の黒矢印）は、Canto条件ではmid-footの圧力が減少し、forefootやrear-footに分散されて、これらのエリアの圧力が増加している（(b)の黒矢印）。

これは、円板クラッチで同じ回転作用 M を発生させる際に、作用する圧縮力が減少しても（ $P > P'$ ）半径 R を大きくすることで（ $R < R'$ ）対応できることと同じメカニズムと考えられる（式）。

大させ、かつ右足への荷重量（床反力鉛直成分）を減少させたと考えられた。これが、被験者の主観的運動強度を下げ、運動を楽に感じさせたと推察された。

3. Opti Cantoの応用に関して

Jackson et al. (2004) は、慢性関節リウマチに対して2つの足底挿板が有効かを10の症例で検証している。足底挿板は、足底挿板にドームパッドを貼り付けたもの（A）と足底挿板にバーパッドを貼り付けたもの（B）を使用している。歩行時の足底圧力から足底挿板の効果を調査している。靴のみと2つの足底挿板を比べ、中足骨平均圧力の有意な低下が認められたとしている。2つを比べると、(B)足底挿板の効果が大きかった。慢性関節リウ

マチ患者の前足部圧を管理するには、(B)足底挿板を勧めている¹⁴⁾。前足部は、本実験のforefootエリアにあたる。forefootは、左回転時、右回転時ともに平均圧力を上昇させている。中足骨へ圧力が大きくなってしまいうことからJacksonの症例のような慢性関節リウマチに対してOpti Cantoは、勧めることができない可能性がある。

Rao et al. (2009) は、2つの足底挿板で中足関節炎患者女性20名に対して実験を行っている。足底挿板は、中足関節炎患者の足部にカスタム化された3/4の長さのシューインサート（3Q）とカーボンフットプレート（FL）を使用している。FL足底挿板が中足関節炎に有効か評価するために4週間介入の

評価をしていた。また、歩行時の足底圧力から足底挿板の効果を調査している。靴のみと2つの足底挿板を比較している。4週間介入の結果FL足底挿板は、痛みのなどの改善(FFI-Rスコア12%)をしたとしている。足底圧力は、FL足底挿板は、3Q足底挿板と比較して、中足部中部の平均圧力を20%の有意な減少がみられたとしている。また、中足部の接触時間を有意に減少をさせたとしている。FL足底挿板で処置した中足関節炎患者における症状の改善には、中足部の負荷の大きさおよび接触時間が減少した。これらの結果は、中足関節炎患者に対してFL挿入物が有効な足底挿板であることを示唆している¹⁵⁾。中足部は、本実験のmidfootエリアにあたる。左回転時はCanto条件で12.5%有意な減少、右回転時は、Canto条件で16.4%の有意な減少がみられた。Opti Cantoは、中足部の平均圧力を下げることから、中足関節炎患者に対して有効な可能性が示唆された。

Eils et al. (2004) は、サッカーシューズ内の足底圧情報を収集するために、21名の経験豊富なサッカー選手対象に実験を行なっている。サッカーに関連する動作である通常走行、カッティング動作、スプリント、キック動作中の足圧分布を収集している。通常走行時は、踵、中足骨頭および外反母趾の下に主要圧力がみられた。カッティング動作は、内側の踵、内側前足部、および外反母趾に主要圧力がみられた。スプリントは、前足部に主要圧力がみられた。特に内側のつま先に大きな圧力がかかっていた。キック動作は、足の外側と踵の下で主要圧力がみられたとしている。特定エリアの負荷値が大きすぎると、過剰使用による怪我の発生の可能性が高まることを示唆

している¹⁶⁾。カッティング動作、スプリント、キック動作は前足部と踵に主要圧力がみられた。本研究より、サッカー時にOpti Cantoを挿入することは、各動作で前足部と踵の圧力を上昇する可能性がある。サッカー動作では、内側、外側にも主要圧力がみられるが、本研究では内側、外側に足圧分布を分割していない。先行研究のように得られた足圧分布を内側、外側に分割することで詳細な圧力変化を分析する必要が示唆された^{7, 15, 17)}。

Meister et al. (2011) は、ゴルフスイング中のフリーモーメントを計測している。プロゴルファーのスイング中フリーモーメントは、バックスイング局面で上昇していく。初期ダウンスイング局面で最大フリーモーメントが発生している。インパクト局面で最小フリーモーメントが発生している。最大フリーモーメントから最小フリーモーメントは、直線的に増加している。プロと初心者と比較すると、最大フリーモーメントは、減少し遅れて発生している¹⁸⁾。初期ダウンスイング局面でクラブは下向きに回転し、クラブがほぼ水平に達するまで、左足に体重が移動し、外側、後足に圧力が移動していた。また、初期ダウンスイング中にフリーモーメントは最大値をむかえる。インパクト局面では、左足は前足部外側、中足部外側および後足部に圧力が集中していた。右足は後足から圧力が減少した。中足部内側に圧力が集中し、ゴルファーの体重が前足のほうにシフトしたことで、踵が地面から浮き上がっていた。また、インパクト局面で最小フリーモーメントが発生している。本研究の最大フリーモーメントはフリーモーメント右回転時にあたり、最小フリーモーメントはフリーモーメント左回転時にあた

る。本研究より、Opti Cantoを挿入することで、足底圧を前足部および後足部へ分散をし、足部の接触面積を増やすと推測される。そのことで、普段の同じ力感で、ゴルフスイング動作を楽に行うことができる可能性が示唆された。

V. まとめ

本研究より次の知見を得た。①Opti Cantoの装着によって、身体回旋動作時の足圧分布の分散が観察された。具体的には、中足部の圧力が低下し、前足部および後足部の圧力が増加した。②この足圧分布の分散によって、足底と床面との接触面積が拡大され、かつ右足への荷重量（床反力鉛直成分）を減少させることができた。これが、被験者の主観的運動強度を下げ、運動を楽に感じさせたと考えられた。個人に最適なヒールパッドの装着という観点は、今後、パフォーマンスの向上、スポーツ障害予防などあらゆる観点から検証が必要と考えられる。本研究成果は、Opti Cantoに関する研究の一助となる。以上、本研究により、Opti Cantoを力学的に評価する貴重な成果を得ることに成功した。

参考文献

- 1) 坂口顕, 理学療法士のための足と靴のみかた, 第1版第2刷, 株式会社文光堂, 2013:107-116.
- 2) 中図健, 下肢運動器疾患の診かた・考えかた, 第1版第1刷, 株式会社医学書院, 2016:173-223.
- 3) 清水新悟, 佐藤政次, 清田信幸ら: 変形性膝関節症の足底板療法の評価, 日本義肢装具学会誌 22 (1), 2006:38-42.
- 4) 大畑光司, 市橋則明, 竹村俊一: 外側ウェッジが歩行に与える影響－筋電図学的分析を中心に－, 理学療法学 31 (3), 2004:175-181.
- 5) P. Y. Lee, K. B. Landorf, D. R. Bonanno et al: Comparison of the pressure-relieving properties of various types of forefoot pads in older people with forefoot pain, Journal of Foot and Ankle Research 7 (18), 2014:1-8.
- 6) D. R. Bonanno, K. B. Landorf, H. B. Menz: Pressure-relieving properties of various shoe inserts in older people with plantar heel pain, Gait & Posture 33 (3), 2011:385-389.
- 7) D. R. Bonanno, C. Y. Zhang, R. C. Farrugia et al: The effect of different depths of medial heel skive on plantar pressures, Journal of Foot and Ankle Research 5 (20), 2012:1-10.
- 8) ADS札幌/Opti Canto. <http://www.ads-sapporo.co.jp/opti-canto/> (Accessed Nov.1th, 2016)
- 9) D. G. Cronkwright, M. J. Spink, K. B. Landorf et al: Evaluation of the pressure-redistributing properties of prefabricated foot orthoses in older people after at least 12 months of wear, Gait & Posture 34 (4), 2011:553-557.
- 10) J. Burns, J. Crosbie, R. Ouvrier et al: Effective Orthotic Therapy for the Painful Cavus Foot-A Randomized Controlled Trial, Journal of the American Podiatric Medical Association 96 (3), 2011:205-211.
- 11) A. C. Redmond, K. B. Landorf, A.

- M. Keenan: Contoured, prefabricated foot orthoses demonstrate comparable mechanical properties to contoured, customised foot orthoses: a plantar pressure study, *Journal of foot and ankle research* 2 (20), 2009:1-10.
- 12) M. Powell, M. Seid, I. S. Szer: Efficacy of custom foot orthotics in improving pain and functional status in children with juvenile idiopathic arthritis: A randomized trial, *Journal of Rheumatology* 32 (5) , 2005:943-950.
- 13) F. P. Beer, E. R. Johnston, 工学のための力学 上, 第1版第14刷, ブレイン図書出版株式会社, 2011:342-343.
- 14) L. Jackson, J. Binning, J. Potter: Plantar Pressures in Rheumatoid Arthritis Using Prefabricated Metatarsal Padding, *Journal of the American Podiatric Medical Association* 94 (3), 2004:239-245.
- 15) S. Rao, J. F. Baumhauer, L. Becica et al.: Shoe Inserts Alter Plantar Loading and Function in Patients With Midfoot Arthritis, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 39 (7), 2009:522-532.
- 16) E. Eils, M. Streyl, S. Linnenbecker et al: Characteristic Plantar Pressure Distribution, *The American Journal of Sports Medicine* 32 (1), 2004:140-145.
- 17) S. A. Bus, J. S. Ulbrecht, P. R. Cavanagh: Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity, *Clinical Biomechanics* 19 (6) , 2004:629-638.
- 18) D. W. Meister, A. L. Ladd, E. E. Butler et al: Rotational biomechanics of the elite golf swing: Benchmarks for amateurs, *Journal of Applied Biomechanics* 27 (3) , 2011:242-251.

